

УДК 621.336

А.М. Муха, Д.В. Устименко, О.Ю. Балійчук, О.Я. Куриленко

*Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна, Україна*

## АНАЛІЗ СТАНУ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ КОНТАКТНОГО ПРОВОДУ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НА ДІЛЯНКАХ ЛЬВІВСЬКОЇ ЗАЛІЗНИЦІ

*Проаналізовано стан робочої поверхні контактного проводу на експериментальних ділянках, як змінного, так і постійного струму при експлуатації електрорухомого складу, обладнаного різними типами накладок полозів струмоприймачів.*

**Ключові слова:** *електровоз, електропоїзд, знос, контактний провід, струмоприймач.*

### Постановка проблеми

Залізничний транспорт являється одним із найбільших і стабільних споживачів електричної енергії: залізницями України, наприклад, у 2009 році на електротягу поїздів і нетягові потреби витрачено 5,4 млрд. кВт·год, що складає біля 4,2% від загального споживання електроенергії в державі [1, 2]. При цьому із всієї спожитої електроенергії 80...84% використовується власне на електричну тягу [3]. Ця галузь народного господарства є стратегічною для соціально-економічного розвитку держави і за будь-яких умов зберігає провідну роль у вантажних та пасажирських перевезеннях.

Електрорухомий склад отримує електричний струм завдяки ковзному контакту «Полоз струмоприймача – контактний провід», який характеризується відносно невисокими показниками надійності. Особлива складність вирішення триботехнічних проблем у ковзному електричному контакті пояснюється дією електричного струму.

Одним із шляхів підвищення надійності цього сполучення є впровадження новітніх матеріалів при виготовленні накладок полозів струмоприймачів.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Даним питанням займалися такі відомі вчені, як Берент В.Я., Гершман І.С., Кончиц В.В., Гинзбург А.Г. Сидоров О.А., та інші.

Аналіз літературних джерел [5-12] показав, що підвищення надійності та економічності ковзного контакту є комплексною задачею, яка пов'язана з розробкою нових досконаліших матеріалів для ковзних контактів, впровадження нових типів контактних підвісок, покращення конструкції та властивостей пантографів.

В умовах значного зносу основних фондів та обмеженого фінансування, при необхідності короткострокового впровадження перший шлях найбільш перспективний, але вимагає широкого спектру досліджень нових типів накладок: експлуатаційних та стендових.

### Формулювання мети статті

Метою статті є висвітлення одного з аспектів роботи пов'язаної з визначенням ступеня зносу контактного проводу, а саме аналіз стану робочої поверхні контактного проводу на експериментальних ділянках змінного та постійного струму при експлуатації рухомого складу, обладнаного різними типами накладок.

### Виклад основного матеріалу

В рамках проведення роботи по визначенню ступеня зносу контактного проводу визначені експериментальні ділянки змінного і постійного струму регіональної філії «Львівська залізниця» ПАТ «УЗ» на яких контролювались висота та стан поверхні контактного проводу. Для визначення ступеня зносу контактний провід використовуються експлуатаційні випробування. Порядок проведення розрахунку зносу контактного проводу представлено у «Правилах улаштування та технічного обслуговування контактної мережі електрифікованих залізниць» (ЦЕ-0023) [4]. Заміри виконувались у відповідності до календарного плану НДР № 24.52.16.17 від 03.06.2016 р. і проводились на наступних ділянках регіональної філії «Львівська залізниця» ПАТ «УЗ»:

1. «Тернопіль – Глибочок Великий – Озерна» – електрифіковано змінним струмом;
2. «Городок – Затока – Мшана» – електрифіковано постійним струмом.

Однією з основних проблем при проведенні таких робіт є необхідність забезпечення експлуатацією на дослідних ділянках достатньої кількості електрорухомого складу з дослідним типом накладок, для виключення взаємного впливу накладок різного типу на знос контактного проводу.

Частину електрорухомого складу було обладнано накладками нового типу з матеріалу ковзної частини «Романіт-УВЛШ» виробництва ТОВ «КІН» (Україна). Всі типи накладок, що використовуються на залізниці дотепер будемо називати «традиційними», до них відносяться: мідна шина, НМГ-1200, ПКД-4-1(2), вставки виробництва ООО «Глорія».

На дільницях змінного струму загалом було проведено 3 заміри: 11 жовтня 2016 року; 30 листопада 2016 року та 30 березня 2017 року. Заміри проводились мікрометром МКЦ(4)-25-0,001 зав. № 201506063 дата калібрування 17.05.2016 р. В процесі заміру за допомогою фототехніки фіксувався стан робочої поверхні контактної проводу, а також координати точки проведення замірів (за допомогою GPS) рис. 1.1

При проведенні першого заміру на ділянці працював електрорухомий склад з накладками традиційного типу.



Рис. 1.1 – Фотографія виміру висоти контактної проводу з фіксацією координат по GPS.

На рис. 1.2...1.4 представлені фотографії фрагментів поверхні контактної проводу.

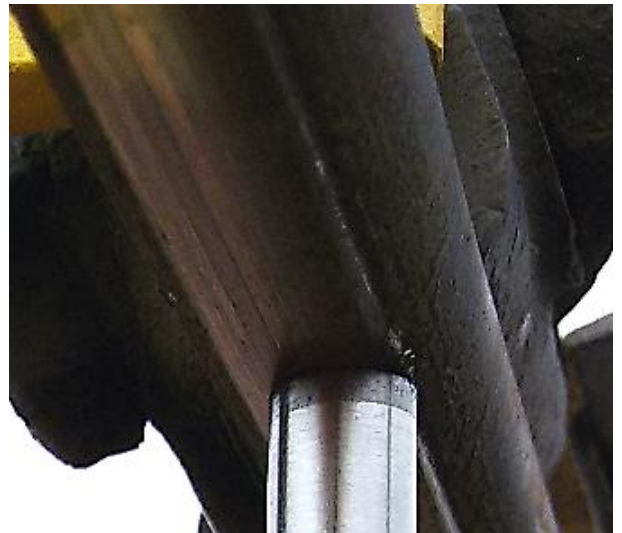


Рис. 1.2 – Фрагмент 20161011\_093440.jpg.



Рис. 1.3 – Фрагмент 20161011\_093611.jpg.



Рис. 1.4 – Фрагмент 20161011\_094251.jpg.

Аналіз представлених фотоматеріалів дозволяє визначити, що на експериментальних ділянках поверхня контактної проводу має характерні борозни, виривів та раковин немає. В цілому поверхня має нерівномірний характер.

Графітізації контактної поверхні не спостерігається.

30 листопада 2016 р. проведено повторний замір зносу контактного проводу по парній та непарній колії на ділянці «Тернопіль – Глибочок Великий – Озерна» РФ «Львівська залізниця» ПАТ «УЗ».

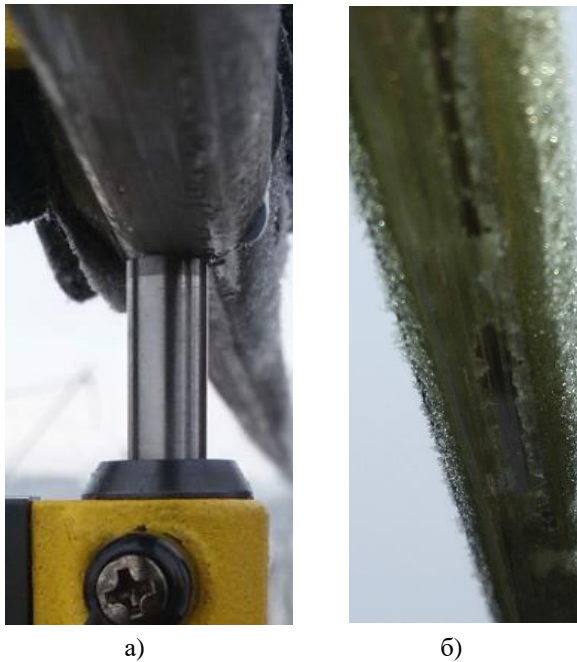


Рис. 2.2 – Виконання замірів в умовах покриття контактного проводу ожеледдю.

Станом на 30 листопада 2016 року контактний провід на дослідній ділянці був вкритий ожеледдю (рис. 2.2). Було прийнято рішення очищення від ожеледі за допомогою тканини, це дозволило отримати чисті поверхні для встановлення вимірювальних засобів.

На рис.2.3...2.7 представлені фотографії фрагментів поверхні контактного проводу на експериментальних ділянках.

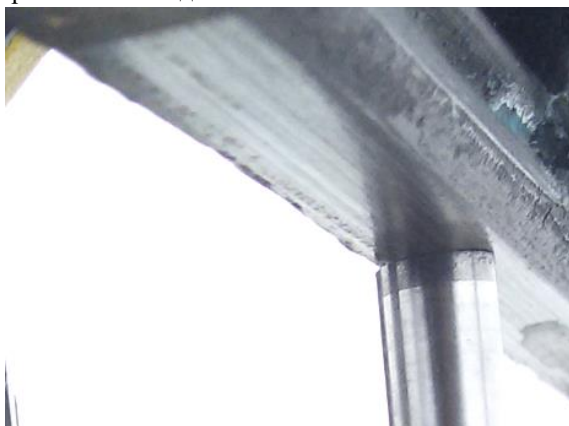


Рис. 2.3 – Фрагмент 20161130\_093150.jpg.



Рис. 2.4 - Фрагмент 20161130\_100156.jpg.



Рис. 2.5 – Фрагмент 20161130\_101940.jpg.

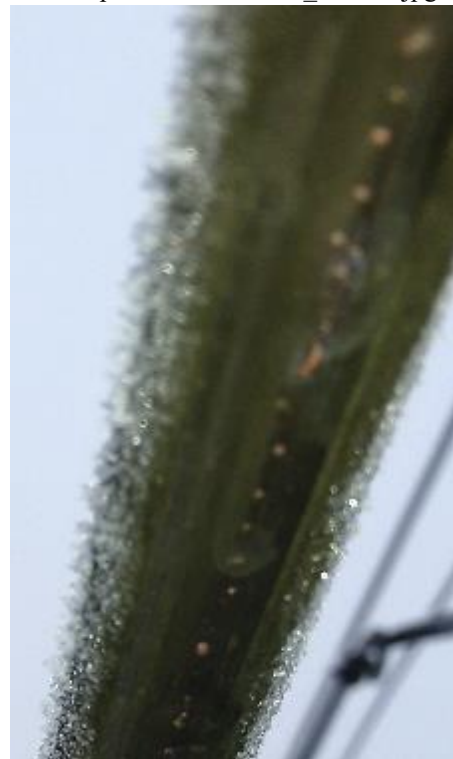


Рис. 2.6 – Фрагмент 20161130\_101341.jpg.

На рис. 2.6 добре видно сліди мікрозварювань, що з'явилися на робочій поверхні контактного проводу в результаті роботи ковзного контакту в умовах ожеледі.



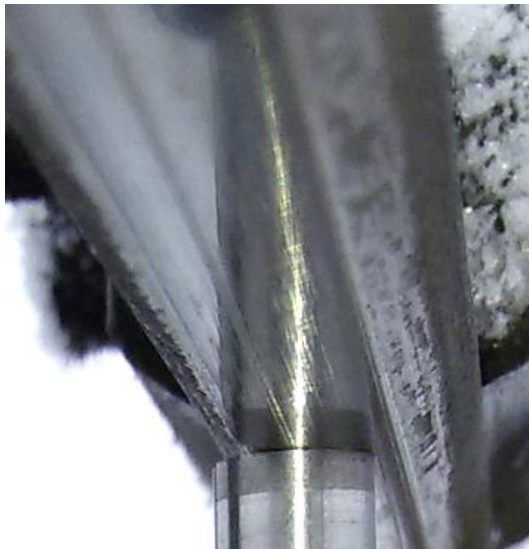


Рис. 2.7 – Фрагмент 20161130\_122306.jpg.

Аналіз представлених фотоматеріалів, які отримані до початку випробувань, дозволяє визначити, що на експериментальних ділянках поверхня контактного проводу має характерні пошкодження у вигляді глибоких борозн, виривів та раковин немає. В цілому поверхня має нерівномірний характер.

Графітізації контактної поверхні не спостерігається.

Треті виміри проводилися 30 березня 2017 року в два етапи:

- заміри при наявності захисної плівки, яка утворена в результаті роботи на вище вказаних ділянках електрорухомого складу з новим типом накладок.

- заміри висоти чистого контактного проводу після очищення від захисної плівки.

На рис. 3.1, 3.2 представлені фотографії фрагментів поверхні контактного проводу на експериментальних ділянках.

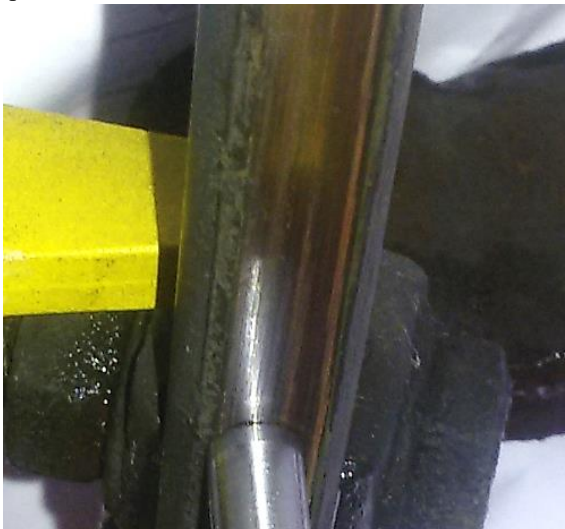


Рис. 3.1 – Фрагмент 20170330\_093234.jpg.



Рис. 3.2 – Фрагмент 20170330\_132821.jpg.

Аналіз представлених фотоматеріалів, які отримані наприкінці випробувань, дозволяє визначити, що на експериментальних ділянках робоча поверхня контактного проводу рівномірна, має стійку захисну плівку.

Робоча поверхня контактного проводу рівномірна, борозни «затягнуті» змащувальними матеріалами. Спостерігається графітізація поверхні.

На ділянках постійного струму було проведено 2 заміри: 14 червня 2016 року та 26 липня 2016 року. Заміри виконані мікрометром МК-25-01-0,01 № Ц7389 (дата повірки 15.12.2016 р., приналежність ИЛПС ДПТ). В процесі заміру за допомогою фототехніки фіксувався стан робочої поверхні контактного проводу, а також координати точки проведення замірів (за допомогою GPS) (рис. 4.1).

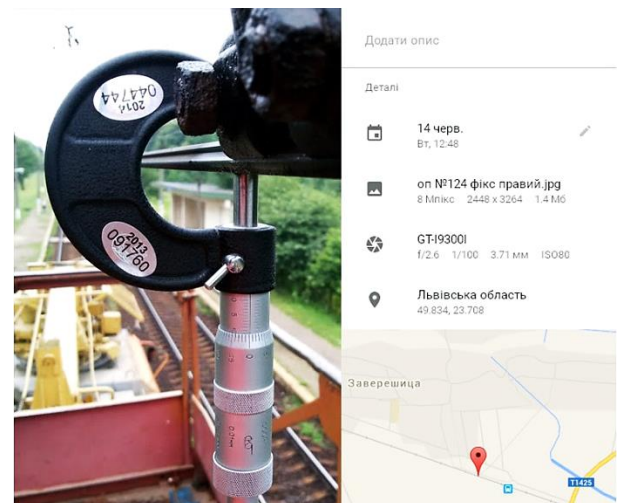


Рис. 4.1 – Фотографія виміру висоти контактного проводу з фіксацією координат по GPS.

При проведенні першого заміру на ділянці працював електрорухомий склад з накладками традиційного типу.



Рис. 4.2 – ОП №11 фіксатор правий



Рис. 4.3 – ОП №122 фіксатор правий

На рис. 4.2, 4.3 представлені фотографії фрагментів поверхні контактної провід.

Аналіз отриманих фотоматеріалів дозволяє визначити, що на експериментальних ділянках робоча поверхня контактної провід досить сильно зношена, має значну шорсткість, глибокі задири та борозни з виривами міді.

Контактний провід на ділянці «Городок – Затока – Мшана» регіональної філії «Львівська залізниця» ПАТ «УЗ» знаходиться в експлуатації близько 30 років. Відомо, що при тривалій експлуатації мідних контактних проводів в парі з мідними, мідно-графітовими та керамічними накладками полозів струмоприймачів провід втрачає міцність, фізико-хімічні та механічні властивості, що і спостерігається на вказаній ділянці.

26 липня 2016 р. проведено повторний замір зносу контактної провід на ділянці «Городок – Затока – Мшана» регіональної філії «Львівська залізниця» ПАТ «Укрзалізниця». При цьому відсоток

електрорухомого складу обладнаного накладками полозів струмоприймачів нового типу складає не менше 70%.

На рис. 5.1...5.3 представлені фотографії фрагментів поверхні контактної провід.



Рис. 5.1 – ОП №133 фіксатор лівий



Рис. 5.2 – ОП №7 фіксатор правий



Рис. 5.3 – ОП №133 фіксатор правий

Аналіз отриманих фотоматеріалів, які отримані наприкінці випробувань, показує, що робоча поверхня контактної провід рівна, жирна та відблискує, покрита захисною струмопровідною плівкою, всі борозни та вириви заповнені глобулами вуглецю, які захищають контактний провід від зносу.

Це явище пояснюється тим, що основною складовою матеріалу нового типу накладок є багаточасова глобула вуглецю, структура якої



активна в окисно-відновлювальних реакціях, а також володіє сорбуючими і каталітичними властивостями та має високу симетрію й стабільність. Висока міцність захисної плівки пояснюється міцним з'єднанням глобули вуглецю з матеріалом контактного проводу, що до того ж різко знижує втрати електричної енергії в ковзному контакті.

## Висновки

При замірах висоти контактного проводу перед запуском в експлуатацію електрорухомого складу, обладнаного накладками полоза струмоприймачів нового типу, на робочій поверхні контактного проводу захисна плівка була відсутня, а якість цієї поверхні в багатьох випадках була незадовільна.

При повторних замірах, які проводились за участю в експерименті накладок нового типу: на змінному струмі (близько 30% електрорухомого складу обладнано накладками нового типу) та постійному струмі (близько 70% електрорухомого складу обладнано накладками нового типу) робоча поверхня контактного проводу вкривалась захисною струмопровідною плівкою, яка утворюється металовмісними радикалами глобули вуглецю, «затягувались» борозни та раковини. Спостерігалась стійка графітизація поверхні.

## Література

1. Сергієнко, М. І. Основні напрямки роботи Укрзалізниці з енергозбереження та її результати [Текст] / М. І. Сергієнко // Локомотив-інформ. – 2010. – №4. – С. 24-28.
2. Лашко, А. Д. Енергозбереження на залізничному транспорті України [Текст] / А. Д. Лашко, М. І. Сергієнко // Залізничний транспорт України. – 2001. – №4. – С. 7-11.
3. Малышко, И. В. Основные направления энергосбережения на железнодорожном транспорте Украины [Текст] / И. В. Малышко // Локомотив-информ. – 2007. – №1. – С. 12-14.
4. Правила улаштування та технічного обслуговування контактної мережі електрифікованих залізниць (ЦЕ-0023) [Текст]. - К.: ТОВ "Інпрес" - 2008. - 208 с.
5. Берент, В.Я. Сильноточный скользящий контакт (свойства, повреждаемость и процессы, протекающие в нём) [Текст] М.: ООО «АНАЛИТИКА РОДИС» – 2016, с. 328.
6. Берент, В.Я. Процессы взаимодействия токо-съёмных элементов электроподвижного состава и контактного провода, материалы и прогрессивные технологии их изготовления [Текст]: Автореф. дис... д-ра техн. наук. – М., 1996. – 45 с.
7. Гершман, И.С. Разработка износостойких материалов с помощью методов неравновесной термодинамики на примере скользящих электрических контактов [Текст]: Автореф. дис... д-ра техн. наук. – М., 2006. – 41 с.
8. Сидоров, О.А. Исследование и прогнозирование износа контактных пар систем токосъёма с жестким

токопроводом: Монография [Текст] / О.А. Сидоров, С.А. Ступаков.-М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте». 2012. – 174 с.

9. Electromechanical interaction between carbon-based pantograph strip and copper contact wire: A heuristic wear model / G. Bucca, A. Collina // Tribology International. – 2015. – vol. 92. – P. 47-56. doi: 10.1016/j.triboint.2015.05.019
10. Wear and friction behaviours of copper mesh and flaky graphite- modified carbon/carbon composite for sliding contact material under electric current / P. Wang, H. Zhang, J. Yin, X. Xiong, C. Tan, C. Deng, Z. Yan // Wear. – 2017. – vol. 380-381. – P. 59-65. doi: 10.1016/j.wear.2017.02.045
11. Arc erosive characteristics of a carbon strip sliding against a copper contact wire in a high-speed electrified railway / T. Ding, G.X. Chen, Y.M. Li, H.J. Yang, Q.D. He // Tribology International. – 2014. – vol. 79. – P. 8-15. doi: 10.1016/j.triboint.2014.05.003
12. Experimental study on arc ablation occurring in a contact strip rubbing against a contact wire with electrical current / G.X. Chen, H.J. Yang, W.H. Zhang, X. Wang, S.D. Zhang, Z.R. Zhov // Tribology International. – 2013. – vol. 61. – P. 88-94. doi: 10.1016/j.triboint.2012.11.020

## References

1. Sergienko, M. I. (2010). The main activities of UZ energy efficiency and its results. Locomotive-inform, 4, 24-28.
2. Lachko, A. D., Sergienko, M. I. (2001). Energy saving in railway transport Ukraine. Rail Ukraine, 4, 7-11.
3. Malysenko, I. V. (2007). The main directions of energy saving in the railway transport of Ukraine. Locomotive-inform, 1, 12-14.
4. Rules of Design and maintenance of contact network of electrified railways (IS-0023). K.: Ltd. "Inpres". (2008).
5. Berent, V. J. (2016). High-current sliding contact (properties, damageability and processes occurring in it). M.: LLC "ANALYTICA RODIS", 328.
6. Berent, V. J. (1996). Processes of interaction of current-removable elements of an electric rolling stock and a contact wire, materials and progressive technologies of their manufacture. Author's abstract. Dis ... Dr. techn. Sciences. 45.
7. Gershman, I. S. (2006). Development of wear-resistant materials by means of nonequilibrium thermodynamics methods using the example of sliding electrical contacts. Author's abstract. Dis ... Dr. techn. Sciences. 41.
8. Sydorov, O. A., Stupakov, S. A. (2012). Research and prediction of wear of contact pairs of current collector systems with a rigid current conductor: Monograph. M.: FGBEU «The Educational-methodical center on formation on a railway transportation», 174.
9. Bucca, G., Collina, A. (2015) Electromechanical interaction between carbon-based pantograph strip and copper contact wire: A heuristic wear model. Tribology International, 92, 47-56.
10. Wang, P., Zhang, H., Yin, J., Xiong, X., Tan, C., Deng, C., Yan, Z. (2017). Wear and friction behaviours of copper mesh and flaky graphite- modified carbon/carbon composite for sliding contact material under electric current. Wear, 380-381, 59-65.
11. Ding, T., Chen, G. X., Li, Y. M., Yang, H. J., He, Q. D. (2014). Arc erosive characteristics of a carbon strip sliding

against a copper contact wire in a high-speed electrified railway. *Tribology International*, 79, 8-15.

12. Chen, G. X., Yang, H. J., Zhang, W. H., Wang, X., Zhang, S. D., Zhov, Z. R. (2013). Experimental study on arc ablation occurring in a contact strip rubbing against a contact wire with electrical current. *Tribology International*, 61, 88-94.

**Автор:** МУХА Андрій Миколайович  
доктор технічних наук, професор  
Дніпропетровський національний університет  
залізничного транспорту імені академіка  
В. Лазаряна, Дніпро.  
E-mail – [mukha.andrii@gmail.com](mailto:mukha.andrii@gmail.com)

**Автор:** УСТИМЕНКО Дмитро Володимирович  
кандидат технічних наук, доцент.  
Дніпропетровський національний університет  
залізничного транспорту імені академіка  
В. Лазаряна, Дніпро  
E-mail – [ustimenko.1979@gmail.com](mailto:ustimenko.1979@gmail.com)

**Автор:** БАЛІЙЧУК Олексій Юрійович  
кандидат технічних наук, старший викладач  
Дніпропетровський національний університет  
залізничного транспорту імені академіка  
В. Лазаряна, Дніпро  
E-mail – [lejikbaliychuk@gmail.com](mailto:lejikbaliychuk@gmail.com)

**Автор:** КУРИЛЕНКО Олена Яківна  
б/с, старший викладач  
Дніпропетровський національний університет  
залізничного транспорту імені академіка  
В. Лазаряна, Дніпро  
E-mail – [elena.kyrylenko@gmail.com](mailto:elena.kyrylenko@gmail.com)

### **АНАЛИЗ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КОНТАКТНОГО ПРОВОДА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА УЧАСТКАХ ЛЬВОВСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ**

А.М. Муха, Д.В. Устименко, О.Ю. Балійчук, О.Я. Куриленко

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна,  
Украина

*Проанализировано состояние рабочей поверхности контактного провода на экспериментальных участках, как переменного, так и постоянного тока при эксплуатации электроподвижного состава, оборудованного различными типами накладок полозьев токоприемников.*

**Ключевые слова:** электровоз, электропоезд, износ, контактный провод, токоприемник.

### **ANALYSIS OF THE WORKING SURFACE OF THE CONTACT WIRE ON THE RESULTS OF EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS AT THE SITES OF THE LVIV RAILWAY**

A. Mukha, D. Ustymenko, O. Baliichuk, O. Kurylenko

Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after V.Lazaryana, Ukraine

*The state of the working surface of the contact wire in the experimental sections of both AC and DC is analyzed in the operation of an electric rolling stock equipped with different types of liners of current collectors.*

*The photographs of the working surfaces of the contact wire are given in the article before the application of the new type of linings and after. Positive effect on the state of the working surface of the contact wire on the use of pantograph linings of a new type was noted.*

**Keywords:** electric locomotive, electric train, wear and tear, contact wire, current collector.